

**А. Е. Покатилов**

старший преподаватель  
кафедры прикладной механики и инженерной графики  
Белорусского государственного университета  
пищевых и химических технологий (Могилев)

**Ю. В. Воронович**

старший преподаватель  
кафедры прикладной физической и  
тактико-специальной подготовки  
Могилевского института МВД

## **БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЫВКА ШТАНГИ НА КИНЕМАТИЧЕСКОМ И ДИНАМИЧЕСКОМ УРОВНЯХ**

### **BIOMECHANICAL ANALYSIS OF THE BAR JERK AT THE KINEMATIC AND DYNAMIC LEVELS**

**Аннотация.** В статье по результатам натурного и вычислительного экспериментов исследовано изменение положения центра давления при выполнении рывка штанги в тяжелой атлетике. Показаны закономерности изменения положения центра давления по отношению к опоре (стопам спортсмена), сделан анализ влияния динамического изменения этого положения на технику спортивного упражнения.

Получена и проанализирована количественная картина изменения кинематических параметров движения штанги во время рывка. Это дает возможность проанализировать технику упражнения на основе объективной информации на кинематическом уровне.

**Ключевые слова:** биомеханическая система, динамика, кинематика, рывок штанги, центр давления.

**Annotation.** In the article, based on the results of full-scale and computational experiments, the change in the position of the center of pressure (CD) when performing a barbell jerk in weightlifting is investigated. The regularities of changes in the position of the pressure center in relation to the support (athlete's feet) are shown and the influence of dynamic changes in this position on the technique of sports exercise is analyzed.

A quantitative picture of the change in the kinematic parameters of the bar movement during the jerk is also obtained and analyzed. It also makes it possible to analyze the technique of the exercise based on objective information at the kinematic level.

**Keywords:** biomechanical system, dynamics, kinematics, rod jerk, pressure center.

*Исследование изменения положения центра давления при выполнении рывка штанги. Изменение в динамике положения центра давления (далее — ЦД) имеет большое значение и отражает технику выполнения рывка штанги в тяжелой атлетике [1–4]. На рисунке 1 показан центр давления в динамике для биомеханической системы (далее — БМС).*

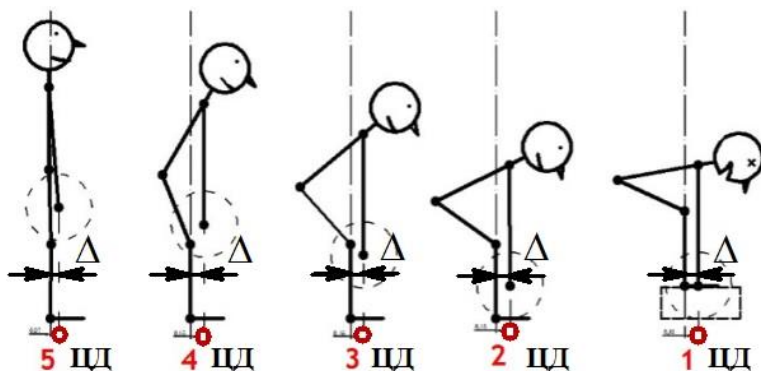


Рисунок 1 — Положение центра давления для БМС в динамике

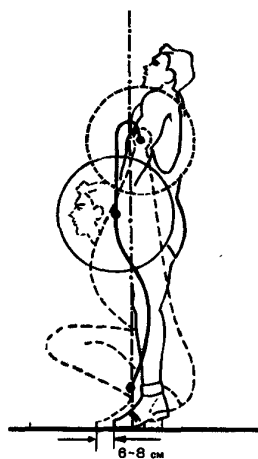


Рисунок 2 — Положение центра давления и стопы

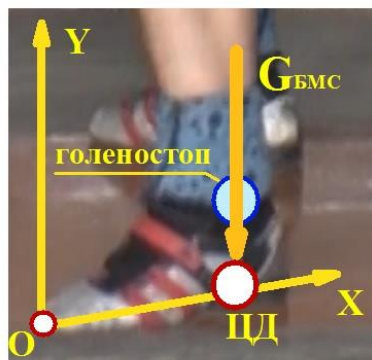


Рисунок 3 — Центр давления в окончательной фазе рывка

Центр давления показан схематично и дано изменение положения ЦД в разных фазах упражнения на величину  $\Delta$ . По большому счету, центр давления БМС в некоторые моменты выходит за опору спортсмена, но происходит это кратковременно и в динамике.

На рисунке 2 показан центр давления относительно стопы БМС, а на рисунке 3 приведен увеличенный фрагмент фотографии положения стопы спортсмена, полученный по результатам видеосъемки при проведении натурного эксперимента.

На рисунке 3 центр давления показан в окончательной фазе рывка штанги. Вертикальная ось проходит через голеностоп и ЦД.

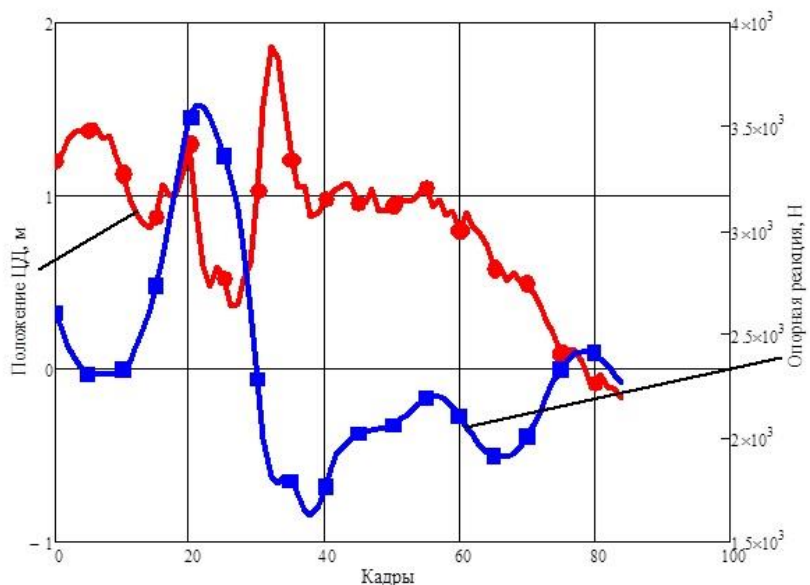


Рисунок 4 — Центр давления и опорная реакция БМС (штанга весом 140 кг)

На рисунке 4 представлены результаты вычислительного эксперимента на ПЭВМ. Здесь совмещен график изменения положения опорной реакции спортсмена (мастер спорта Республики Беларусь) и положения центра давления всей БМС вместе со штангой весом 140 кг. В динамике по фазам упражнения изменяются оба графика, но в момент окончания упражнения обе кривые совмещаются, проходя через ноль.

Это логично, иная картина означала бы, что в конце упражнения, при удержании спортсменом штанги в верхнем положении, последняя создавала бы опрокидывающий момент всей БМС относительно центра давления [5–7]. Это привело бы к травме спортсмена или же к потере штанги, или оба этих процесса произошли бы одновременно [8–11].

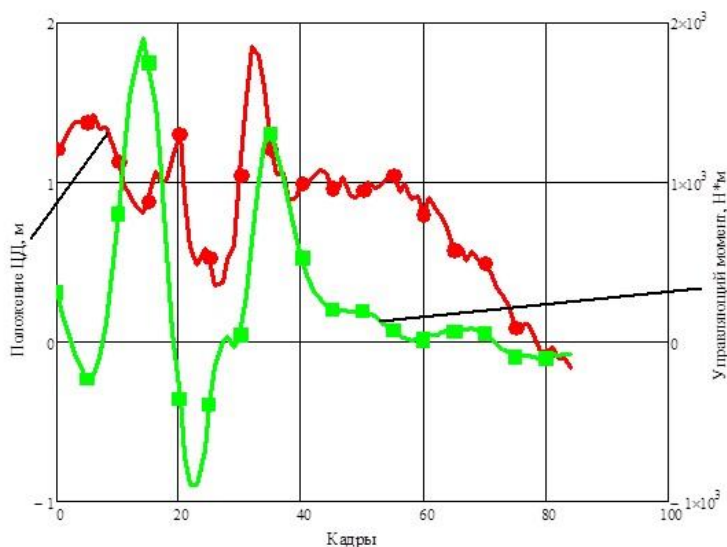


Рисунок 5 — Центр давления и управляющий момент БМС относительно голеностопа (штанга весом 140 кг)

На рисунке 5 отдельно рассмотрены изменения момента управляющих сил мышечной системы относительно голеностопа и изменение положения центра давления при весе штанги в 140 кг. При окончании упражнения центр давления совмещается с проекцией голеностопа на координатную ось, а управляющий момент относительно этого же голеностопа становится равен нулю. Спортсмен фиксирует штангу, удерживая ее вес только по вертикали.

На рисунке 6 показано изменение ЦД для всей БМС при рывке штанги весом 100 кг. Здесь выполнен пересчет координат с учетом смещения ЦД относительно носка стопы и голеностопа [12].

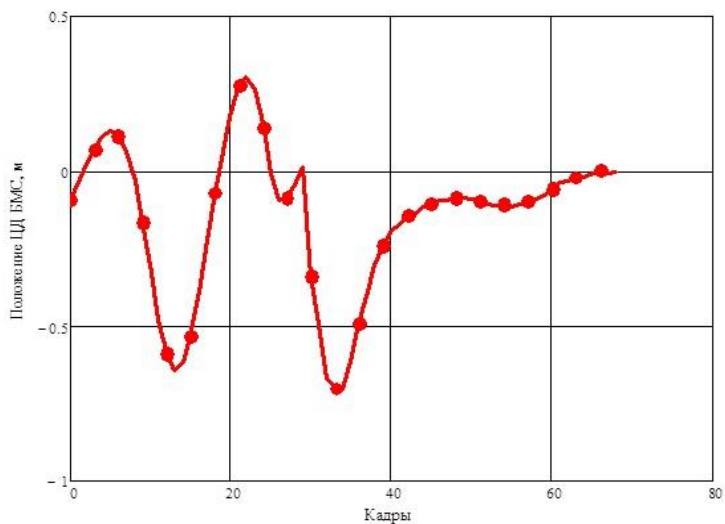
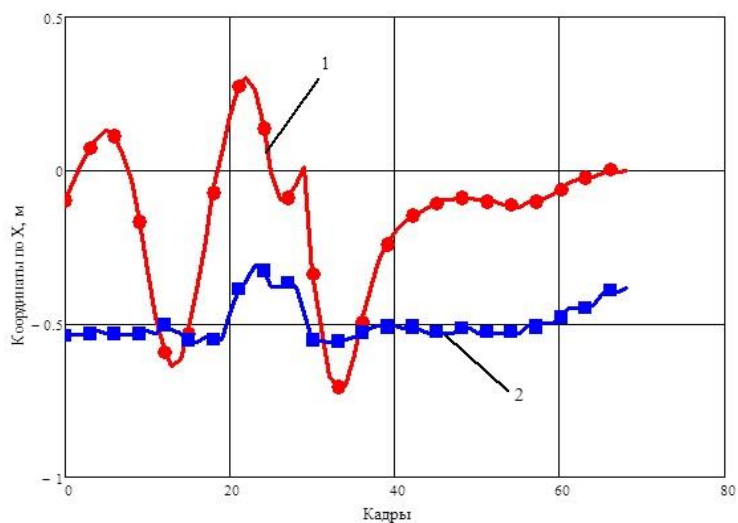


Рисунок 6 — Изменение положения центра давления БМС  
(штанга весом 100 кг)



1 — координаты центра давления; 2 — положение стопы

Рисунок 7 — Координаты центра давления БМС и стопы  
(штанга весом 100 кг)

На рисунке 7 совмещено изменение положения центра давления (график 1) и первоначальное начало координат системы (график 2), за который принимается носок стопы БМС. Здесь выполнен пересчет начала координат в положение голеностопа. Алгебраическая разность между графиками в начале и в конце одинакова и равна расстоянию от носка стопы до голеностопа [13–15].

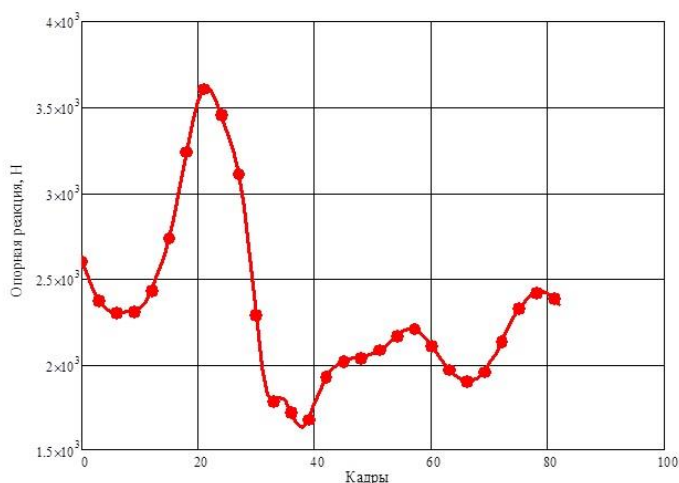


Рисунок 8 — Полная опорная реакция БМС при рывке штанги весом 140 кг

На рисунке 8 показано изменение полной опорной реакции БМС. При весе спортсмена в 95 кг и весе штанги в 140 кг (то есть в сумме 235 кг) в фазе «тяга» имеем в динамике максимальное значение опорной реакции в 3608 Н, или примерно 360 кгс. В завершающей фазе упражнения реакция равна примерно 2350 Н. Такое давление и создает в статике полная система БМС, т. е. спортсмен вместе со штангой [16–18].

С другой стороны, в фазе «подсед» на спортсмена оказывается минимальное силовое воздействие, так как в данный момент контакт со снарядом у спортсмена номинальный — спортсмен делает подсед, а штанга по инерции идет вверх. Опорная реакция составляет 163 кгс. При весе спортсмена в 95 кг имеем чистое силовое воздействие из-за динамики движения двух масс — БМС и штанги, примерно равной 68 кгс. Фактически здесь прекращается силовой контакт спортсмена со штангой, а точнее, сводится к минимуму, необходимому только для коррекции ее траектории в вертикальном направлении [19].

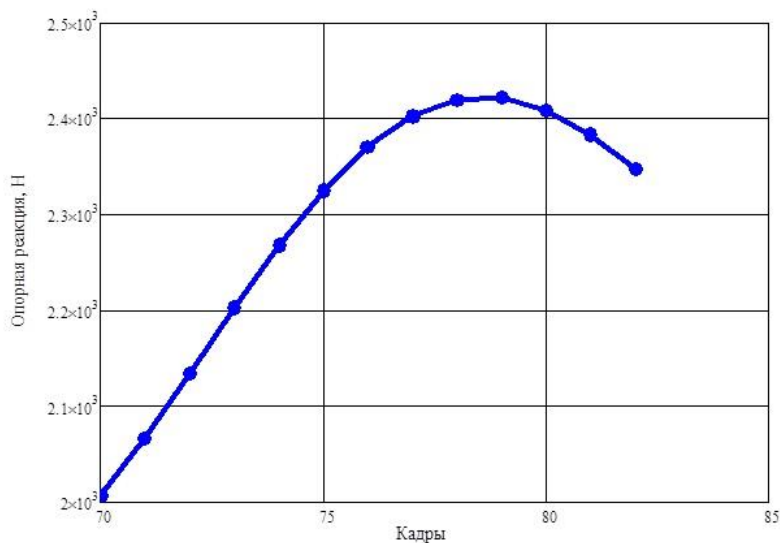


Рисунок 9 — Полная опорная реакция БМС в конечной фазе рывка штанги весом 140 кг

Для более точного анализа на рисунке 9 выделена часть кривой по рисунку 8 с кадра 70 по кадр 82. При большем масштабе хорошо видно окончание рывка и величина опорной реакции в этот момент, равная весу полной системы БМС (спортсмен+штанга).

*Анализ техники спортивного упражнения на кинематическом уровне.* Отметим, что на рисунках 10–12 показаны годографы скоростей и ускорений спортивного снаряда весом в 70 кг, 100 кг и 140 кг.

На рисунке 10 а показан годограф скорости штанги весом 70 кг в интервале  $(0,819) \div (-1,408)$  м/с в вертикальном направлении и в диапазоне  $(0,963) \div (-1,869)$  м/с в горизонтальном направлении. Таким образом, имеем изменение скорости по вертикали равным 2,227 м/с, а по горизонтали — величиной в 2,832 м/с.

Для годографа ускорений штанги в 70 кг по рисунку 10 б имеем диапазон ускорений по вертикали  $(6,55) \div (-5,181)$  м/с<sup>2</sup> и  $(-3,274) \div (-6,853)$  м/с<sup>2</sup> по горизонтали. Это соответствует амплитуде по ускорениям в вертикальном направлении — 11,733 м/с<sup>2</sup> и 10,127 м/с<sup>2</sup> — в горизонтальном.

На рисунке 11 *а* представлен годограф скоростей, а на рисунке 11 *б* — годограф ускорений штанги весом 100 кг. По аналогии с анализом годографов штанги в 70 кг для 100 кг запишем:

- диапазон скоростей в вертикальном направлении  $(0,894) \div (-1,242)$  м/с и  $(0,706) \div (-1,958)$  м/с в горизонтальной плоскости; амплитуда скоростей равна 2,136 м/с и 2,664 м/с соответственно;

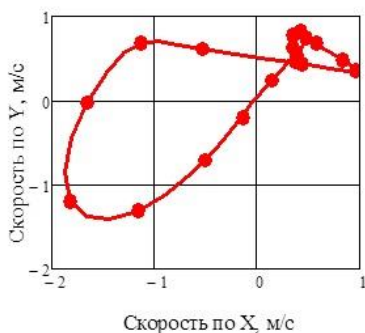
- диапазон ускорений в вертикальном направлении  $(7,86) \div (-7,123)$  м/с<sup>2</sup> и  $(8,189) \div (-4,529)$  м/с<sup>2</sup> в горизонтальной плоскости; амплитуда ускорений — 14,983 м/с<sup>2</sup> и 12,718 м/с<sup>2</sup> соответственно.

На рисунке 12 *а* представлен годограф скоростей, а на рисунке 12 *б* — годограф ускорений штанги весом 140 кг. Имеем:

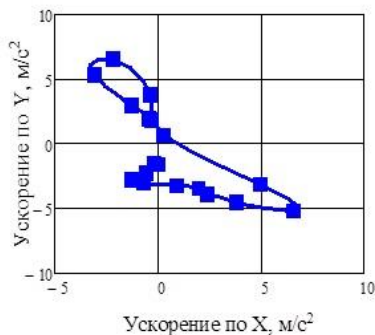
- диапазон скоростей в вертикальном направлении  $(0,848) \div (-1,508)$  м/с и  $(0,693) \div (-2,014)$  м/с в горизонтальной плоскости; амплитуда скоростей равна 2,356 м/с и 2,707 м/с соответственно;

- диапазон ускорений в вертикальном направлении  $(7,822) \div (-8,04)$  м/с<sup>2</sup> и  $(8,698) \div (-4,678)$  м/с<sup>2</sup> в горизонтальной плоскости; амплитуда ускорений — 15,862 м/с<sup>2</sup> и 13,376 м/с<sup>2</sup> соответственно.

Анализ графиков позволяет констатировать, что с увеличением веса штанги спортсмену необходимо приложить большие динамические усилия за счет увеличения ускорений. В вертикальном направлении для штанги в 140 кг ускорение увеличивается на 35 % по сравнению с весом в 70 кг.



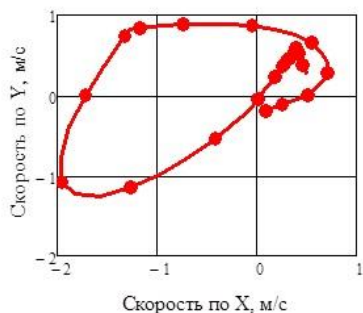
*а)*



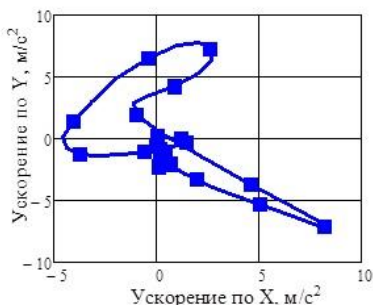
*б)*

Рисунок 10 — Годографы скоростей и ускорений штанги весом 70 кг



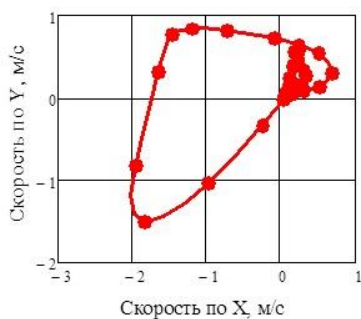


а)

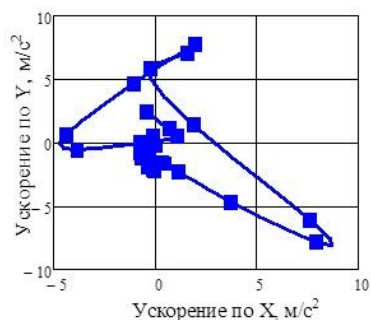


б)

Рисунок 11 — Годографы скоростей и ускорений штанги весом 100 кг



а)



б)

Рисунок 12 — Годографы скоростей и ускорений штанги весом 140 кг

Также необходимо указать, что биомеханический анализ рывка штанги с разным весом на кинематическом уровне в исполнении одного и того же спортсмена по рисункам 10–12 показывает, что годографы скоростей между собой и годографы ускорений между собой различаются как по форме, так и по величине крайних точек.

Биомеханический анализ рывка в тяжелой атлетике позволил выявить основные динамические и кинематические закономерности спортивного упражнения [20–21] и связать их с техникой конкретного спортсмена.

### Список основных источников

1. Воробьев, А. Н. Тяжелая атлетика: учебник для институтов физкультуры / А. Н. Воробьев. — М. : Физкультура и спорт, 1972. — 248 с.
2. Шалманов, А. А. Оперативный и текущий биомеханический контроль в спорте (проблемы и пути решения) / А. А. Шалманов, В. Скотников, Я. Ланка // Наука в олимпийском спорте. — 2013. — № 4. — С. 40–45.
3. Воронович, Ю. В. Биомеханика тяжелоатлетических упражнений : монография / Ю. В. Воронович, Д. А. Лавшук, В. И. Загrevский ; М-во внутр. дел Респ. Беларусь, учреждение образования «Могилевский институт Министерства внутренних дел Республики Беларусь». — Могилев : Могилев. ин-т МВД, 2015. — 196 с.
4. Покатилов, А. Е. Проблемы исследования пространственного движения в спорте / А. Е. Покатилов, Ю. В. Воронович, Т. Д. Симанкова // Биомеханика двигательных действий и биомеханический контроль в спорте : материалы VI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Малаховка, 29–30 окт. 2020 г. / Москов. гос. акад. физ. культуры ; ред.-сост.: А. Н. Фураев. — Малаховка, 2020. — С. 89–94.
5. Балюк, Д. С. Биомеханические особенности изменения угловой скорости звеньев тела в зависимости от веса поднимаемой штанги при выполнении упражнения «рывок» в тяжелой атлетике / Д. С. Балюк // Курсантские исследования : сб. науч. работ / учреждение образования «Могилевский институт Министерства внутренних дел Республики Беларусь». — Могилев, 2019. — Вып. 6. — С. 101–103.
6. Воронович, Ю. В. Сравнительный биомеханический анализ основных динамических характеристик техники рывка в тяжелой атлетике / Ю. В. Воронович, Д. А. Лавшук, В. И. Загrevский // Мир спорта. — 2013. — № 1 (50). — С. 35–40.
7. Лось, А. С. Биомеханические особенности изменения угловой скорости звеньев тела в зависимости от веса поднимаемой штанги при выполнении упражнения «рывок» в тяжелой атлетике / А. С. Лось // Курсантские исследования : сб. науч. работ / учреждение образования «Могилевский институт Министерства внутренних дел Республики Беларусь». — Могилев, 2015. — Вып. 2. — С. 143–146.
8. Ге, Н. Д. Техническая подготовка тяжелоатлетов: Техника, обучение, совершенствование. Новая концепция подготовки тяжелоатлетов / Н. Д. Ге. — Алма-Аты, 1999. — 120 с.
9. Покатилов, А. Е. Биомеханический аспект подготовки курсантов в области профессионально-прикладной физической подготовки [Электронный ресурс] / А. Е. Покатилов, Ю. В. Воронович, А. П. Скачинский // Актуальные проблемы огневой, тактико-специальной и профессионально-прикладной

физической подготовки : сб. ст. / М-во внутр. дел Респ. Беларусь ; Могилев. ин-т М-ва внутр. дел Респ. Беларусь ; редкол.: В. В. Борисенко (отв. ред.) [и др.]. — Могилев : Могилев. ин-т МВД, 2020. — 1 электрон. опт. диск (CD-R).

10. Воронович, Ю. В. Компьютерная программа построения биомеханических характеристик техники тяжелоатлетических упражнений / Ю. В. Воронович // Актуальные вопросы права, образования и психологии : сб. науч. тр. / учреждение образования «Могилевский институт Министерства внутренних дел Республики Беларусь». — Могилев, 2019. — Вып. 7. — С. 94–98.

11. Покатилов, А. Е. К вопросу оценки скоростно-силовых качеств мышечной системы спортсмена / А. Е. Покатилов [и др.] // Биомеханика двигательных действий и биомеханический контроль в спорте : материалы VII Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием, Малаховка, 21–22 нояб. 2019 г. / Москов. гос. акад. физ. культуры ; ред.-сост.: А. Н. Фураев. — Малаховка, 2019. — С. 144–151.

12. Воронович, Ю. В. Сравнительный анализ показателей силы реакции опоры и связи в суставах спортсмена при выполнении тяжелоатлетического упражнения «рывок» / Ю. В. Воронович, Д. А. Лавшук, В. И. Загrevский // Актуальные вопросы права, образования и психологии : сб. науч. тр. / учреждение образования «Могилевский институт Министерства внутренних дел Республики Беларусь». — Могилев, 2016. — Вып. 7. — С. 258–265.

13. Воронович, Ю. В. Сравнительный биомеханический анализ пространственных показателей движения штанги в рывке у спортсменов высокой и средней спортивной квалификации / Ю. В. Воронович // Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта. — 2018. — № 5 (159). — С. 44–46.

14. Воронович, Ю. В. Сравнительный биомеханический анализ основных динамических характеристик техники рывка в тяжелой атлетике / Ю. В. Воронович, Д. А. Лавшук, В. И. Загrevский // Мир спорта. — 2013. — № 1 (50). — С. 35–40.

15. Пушили, С. А. Биомеханический анализ бокового удара рукой / С. А. Пушили // Курсантские исследования : сб. науч. работ / учреждение образования «Могилевский институт Министерства внутренних дел Республики Беларусь». — Могилев, 2017. — Вып. 4. — С. 120–122.

16. Загrevский, В. И. Кинематика пространственной модели неразветвленной биомеханической системы в условиях упругой фиксированной опоры / В. И. Загrevский, Д. А. Лавшук, Ю. В. Воронович // Современное образование и воспитание: тенденции, технологии, методики : сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию МГУ имени А. А. Кулешова, Могилев, 28 марта 2013 г. — Могилев: МГУ им. А. А. Кулешова, 2013. — С. 330–333.

17. Лавшук, Д. А. Поиск рациональной техники соревновательных упражнений в вычислительном эксперименте на ЭВМ / Д. А. Лавшук, Ю. В. Воронович // Актуальные проблемы физического воспитания, спорта и туризма : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 11–13 окт. 2012 г., Мозырь / МГПУ им. И. П. Шамякина ; редкол.: С. М. Блоцкий (отв. ред.) [и др]. — Мозырь, 2012. — С. 220–222.

18. Загrevский, В. И. Пространственная характеристика граничных положений в фазовой структуре соревновательного упражнения «рывок» в тяжелой атлетике // В. И. Загrevский, Д. А. Лавшук, Ю. В. Воронович // Среднее профессиональное и высшее образование в сфере физической культуры и спорта: современное состояние и перспективы развития : материалы Всерос. науч.-практ. конф., 30 марта 2016 г. / Уральская Академия ; под ред. М. В. Чабова. — Челябинск, 2016. — С. 237–243.

19. Воронович, Ю. В. Энергетические характеристики рывка в тяжелой атлетике / Ю. В. Воронович, Д. А. Лавшук // Восток-Беларусь-Запад. Физическая культура, спорт, здоровый образ жизни в 21 веке : сб. науч. ст. 17 Международного симпозиума; Могилев, МГУ им. А. А. Кулешова, 11–13 декабря 2014 г. — Могилев : МГУ им. А. А. Кулешова, 2015. — С. 203–207.

20. Воронович, Ю. В. Биомеханический анализ периода «подсед» в тяжелоатлетическом упражнении «рывок» в зависимости от массы спортивного снаряда / Ю. В. Воронович, Д. А. Лавшук // Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта. — 2017. — № 12 (154). — С. 59–63.

21. Воронович, Ю. В. Педагогико-биомеханическое структурирование упражнения «рывок» в тяжелой атлетике / Ю. В. Воронович, Д. А. Лавшук, В. И. Загrevский // Биомеханика двигательных действий и биомеханический контроль в спорте : материалы V Всерос. с международным участием науч.-практ. конф., 23–24 нояб. 2017 г. / под ред. А. Н. Фуралева. — М. ; Малаховка, 2017. — С. 17–22.